

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL NA APRENDIZAGEM DOS CADETES DO CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS AVIADORES DA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA SOBRE AERODINÂMICA DO VOO¹

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF EXPERIMENTAL PHYSICS ON THE LEARNING OF FLIGHT AERODYNAMICS BY CADETS ON THE AIR FORCE ACADEMY'S AVIATION OFFICER TRAINING COURSE

Gabriele Silva Guimarães²

Douglas Henrique Queiroz de Carvalho³

RESUMO

É notório que a física e a atividade aérea estão altamente interligadas⁴. Sem a ciência, mais especificamente a física, seria difícil fazer um artefato mais pesado que o ar alçar voos controlados. O clássico e mais importante exemplo de tal feito é o 14 Bis, que, após diversas tentativas experimentais e sucessivos aprimoramentos, obteve êxito, sendo o então o marco inicial da história evolutiva da aviação até os dias atuais⁵. Ademais, vale ressaltar as mudanças do processo de evolução da ciência em relação ao aprendizado científico, cuja consolidação, atualmente, seria feita a partir de métodos práticos aliados à fundamentação teórica². Destaca-se, em adição a isso, a importância dessas metodologias investigativas, que, segundo Carvalho (2013), transparecem o aspecto da investigação do saber científico, fazendo com que o método também se transforme em conteúdo. Juntamente com o fato da evolução das aeronaves e da atividade aérea, os futuros pilotos se viram obrigados a obter cada vez mais conhecimentos acerca dos fundamentos físicos fenomenológicos aerodinâmicos, a fim de se adaptar ao desenvolvimento exponencial de maneira tanto teórica, quanto, principalmente, prática durante seus voos. Uma prova desse fato são os simuladores de voo, altamente empregados nas instruções aéreas, inclusive utilizados na Academia da Força Aérea (AFA) promovendo notória diferença no aprimoramento da instrução para os cadetes aviadores do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV). Esses simuladores oferecem uma visualização prática da dinâmica do voo, semelhante à realidade, como, por exemplo, a atuação de algumas forças mecânicas na aeronave, como a sustentação e arrasto. Dessa forma, este trabalho irá, basicamente, relacionar como o entendimento e domínio experimental dos fundamentos da aerodinâmica do voo podem colaborar com o aprimoramento do desempenho do

¹ Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Aviadora do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

³ 2º Tenente QOCON MFS, especialização em Matemática e Ciências pela Universidade de Stanford - Califórnia - EUA, mestrado em Física e Química na área de Materiais pela Universidade Federal de São João Del-Rei., Aluno de doutorado em Ciências de Materiais no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/ CNEN). E-mail: carvalhodhq@fab.mil.br.

⁴ FONTES, André. **O que faz um avião voar.** Instituto de Física – UFRGS. (S.D) Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20031/Andre/#5.%20>>. Acesso em: 18 mar 2020.

⁵ FRAGA, Sérgio Luiz Marques. **Quais conceitos e aplicações da Física podem atuar para que um avião voe.** Orientador: Hualan Patrício Pacheco. 2020. Número de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Porto Velho, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ifro.edu.br/handle/123456789/311>. Acesso em: 4 out 2024.

cadete aviador durante a atividade aérea, visto que, majoritariamente, esses conhecimentos físicos somente são estudados de forma teórica, por meio de manuais e, algumas vezes, por intermédios de recursos didáticos audiovisuais, dentre outros recursos, em detrimento da atividade prática a fim de alcançar uma compreensão mais adequada da dinâmica do voo antes mesmo de voar. Isso será investigado a partir da utilização de um simulador virtual, Physics Simulation | CK-12 Foundation, além de um questionário, presente no Anexo B deste trabalho, que abordará questões não só quantitativas, como também qualitativas, para analisar as respostas de um grupo de cadetes que farão o experimento, vide o Apêndice A, e por outro grupo de cadetes que não o farão. A partir disso, espera-se concluir que o experimento realizado no simulador ajudará os cadetes a desenvolverem respostas mais elaboradas e com mais facilidade a respeito dos conceitos físicos do voo, comprovando que a Física experimental auxiliará os cadetes a compreenderem de maneira mais simples os princípios aerodinâmicos vistos na atividade aérea.

Palavras-chave: Física; Física experimental; Aerodinâmica; Práticas experimentais; e Princípios aerodinâmicos.

ABSTRACT

It is well known that physics and aviation are highly interlinked. Without science, more specifically physics, it would be difficult to make a heavier-than-air artifact fly under control. The classic and most important example of such an achievement is the 14 Bis, which, after several experimental attempts and successive improvements, was successful and is the starting point for the evolutionary history of aviation to this day. In addition, it is worth highlighting the changes in the process of evolution of science in relation to scientific learning, the consolidation of which would currently be based on practical methods combined with theoretical foundations². In addition, the importance of these investigative methodologies stands out, which, according to Carvalho (2013), reveal the aspect of investigating scientific knowledge, so that the method also becomes content. Along with the evolution of aircraft and aviation, future pilots have been forced to gain more and more knowledge about the physical and aerodynamic phenomenological foundations in order to adapt to exponential development in both a theoretical and, above all, practical way during their flights. One proof of this is flight simulators, which are highly used in aerial instruction and are even used at the Air Force Academy (AFA), making a notable difference in improving instruction for aviation cadets on the Aviation Officer Training Course (CFOAV). These simulators offer a practical visualization of flight dynamics, similar to reality, such as the action of some mechanical forces on the aircraft, like lift and drag. In this way, this work will basically relate how understanding and experimental mastery of the fundamentals of flight aerodynamics can help to improve the performance of the cadet aviator during air activity, since, for the most part, this physical knowledge is only studied theoretically, by means of manuals and, sometimes, through audiovisual teaching resources, among other resources, to the detriment of “hands-on” in order to achieve a more adequate understanding of the dynamics of flight before even flying. This will be proven through the use of a virtual simulator, Physics Simulation | CK-12 Foundation, as well as a questionnaire, included in Appendix B of this work, which will address not only quantitative but also qualitative questions, in order to effectively analyze the responses of a group of cadets who will carry out the experiment, see Appendix A, and another group of cadets who will not. From this, it is hoped to conclude that the experiment carried out in the simulator will help the cadets to develop more elaborate answers more easily, proving that experimental physics will help the cadets to understand the aerodynamic principles seen in the aerial activity in a simpler way.

Keywords: Physics; Experimental physics; Aerodynamics; Experimental practices; Aerodynamic principles.

INTRODUÇÃO

Conforme o artigo de André Fontes, “O que faz o avião voar”, no início da evolução da aviação, o conhecimento teórico era o fator importantíssimo para a compreensão do ato de voar, visto que as técnicas aerodinâmicas não eram tão avançadas como nos dias atuais, observando-se, assim, uma necessidade de pôr em prática previamente esses conhecimentos adquiridos para se ter um maior discernimento sobre os assuntos relacionados a toda a dinâmica envolvida na atividade aérea. Consoante ao pensamento de Da Rosa e Kalhil (2019), com a aviação evoluindo exponencialmente, foi necessário proporcionar um maior enfoque em uma nova didática que conseguisse suprir o aprendizado de técnicas mais aprimoradas que acompanhassem tal evolução. Assim, conforme apontado por Moraes Júnior (2015), com todo esse avanço da aviação e, conseqüentemente, uma alta exigência das técnicas e conhecimentos físicos voltados principalmente para a aerodinâmica, buscam-se novas formas educacionais que possam fazer com que os docentes tenham um aprimoramento técnico e metodológico necessários para o aprendizado. Dentre vários exemplos desse fato, destaca-se o uso de métodos ativos e investigativos, que, segundo Moreira (2018), possibilita aos discentes compreender de maneira mais real o que, muitas vezes, fica no mundo das ideias. Portanto, este trabalho tem como enfoque pontuar aspectos relacionados à aerodinâmica, métodos experimentais e, principalmente, discutir o seguinte questionamento: **qual a influência da Física experimental, como uma forma de metodologia ativa e investigativa, na compreensão dos fundamentos da aerodinâmica do voo para os cadetes aviadores do Curso de Formação de Oficiais Aviadores da Academia da Força Aérea Brasileira?**

1 REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho em questão tem como principal objetivo relacionar duas variáveis: a Física experimental e a compreensão dos fundamentos da aerodinâmica do voo. Nesse intuito, o projeto irá conter conceituações importantes para um melhor entendimento e situacionalidade durante todo o prosseguimento da pesquisa. Serão utilizados como base alguns textos de Junior Moraes (2015), Moreira (2018), Batista e Blini (2009), livro “Física geral e experimental” de José Goldemberg e José Moran (2018). Todos esses textos irão auxiliar na definição da Física Experimental como forma de uma metodologia ativa, prática e investigativa. Além disso, para definir os princípios dos fundamentos da aerodinâmica no voo serão utilizados como base textos dos seguintes livros:

“Aerodinâmica e teoria de voo” de Jorge Homa, “Fundamentos da Física I, Mecânica” de Halliday e Resnick e “Teoria de Voo Aviões” de Denis Bianchi. No que diz respeito à primeira variável analisada sobre os métodos experimentais, Batista e Blini (2009) diziam que o desenvolvimento cognitivo científico é enigmático e possui várias dimensões, necessitando que o discente tenha um trabalho investigativo de diferentes métodos que possam desencadear em múltiplas formas de aprendizagem, como, por exemplo, perguntas e ações que permitem o erro e a utilização do tato, além de investigações das circunstâncias de alguma situação. Ademais, destaca-se a importância pedagógica da metodologia ativa, cujo o aprendizado por transmissão, segundo José Moran (2018), é mais efetivo para que o docente compreenda mais profundamente o que está sendo ensinado, além de conseguir fazer com que este tenha um avanço exponencial no nível de aprendizagem desde o mais simples para o de maior complexidade, mostrando que o processo de aprendizagem da Física com o segmento experimental abrange não somente a parte investigativa em que o discente se envolve e desenvolve os conceitos científicos, mas também engloba vários aspectos em que se exige uma ação ativa do indivíduo que está em processo de aprendizagem, permitindo que ele consiga manipular materiais, fazer indagações, ter um contato tátil com o que está sendo ensinado e aprender com seus erros. Dessa forma, pode-se afirmar que a parte experimental, de acordo com o que foi exposto acima, é um diferencial para se trabalhar conceitos e sensações que podem determinar a qualidade no processo de aprendizagem. No que se refere à segunda variável, os fundamentos aerodinâmicos estão altamente interligados com a atividade aérea e, sem esses, esta não existiria. A aerodinâmica se baseia em aspectos físicos importantes para sua existência, segundo Anderson e Eberhardt (2006), pode-se citar, principalmente, o princípio de Bernoulli, força de arrasto, força de sustentação, força peso e tração. Esses termos são muito utilizados na instrução aérea, visto que são a base para a compreensão de como uma aeronave consegue alçar voos. Assim, é notório que esses conhecimentos teóricos devem estar intrínsecos na formação de um piloto para que, na prática, este consiga entender tudo que ocorrerá durante sua missão, os efeitos aerodinâmicos que sua aeronave pode estar sujeita e, acima de tudo, conseguir evitar situações adversas como, por exemplo, entrar em uma situação de estol. Todos esses conceitos serão abordados ao longo do processo de desenvolvimento do trabalho com base nos livros já citados anteriormente e irão situar o leitor com explicações didáticas para uma melhor compreensão da pesquisa, a fim de atingir o foco do projeto quanto à análise da influência da física experimental como forma de auxílio para a compreensão dos princípios aerodinâmicos para os cadetes do CFOAV.

2 METODOLOGIA

Tendo como finalidade a análise da influência da Física experimental na compreensão da aerodinâmica do voo, o desenvolvimento dessa pesquisa será efetuada com base em uma metodologia quantitativa e qualitativa executada em três partes: A primeira parte consistirá na conceituação dos termos sobre os principais fundamentos da aerodinâmica voltados para a atividade aérea, esta definição será importante para o entendimento e contextualização do trabalho, e sobre a física experimental focada em sua metodologia ativa prática e investigativa como forma de auxiliar os cadetes aviadores. A segunda parte será feita uma análise experimental quantitativa e qualitativa sobre os conceitos físicos, abordados anteriormente, feita a partir do simulador, Physics Simulation | CK-12 Foundation, que será acessado por meio da própria plataforma digital gratuita por uma pequena amostra de 8 (oito) cadetes aviadores do Segundo Esquadrão da Academia da Força Aérea, todos voluntários, para fins comparativos. Ainda nessa parte da pesquisa, todos os cadetes responderão a um questionário que abordará alguns conceitos relacionados aos princípios aerodinâmicos. Dessa maneira, será possível fazer uma comparação no que tange à utilização do simulador a partir da análise das respostas dos cadetes. Por fim, a terceira parte será a observação geral dos conceitos e análises realizadas, fazendo uma relação entre todas as informações obtidas, a fim de alcançar o objetivo principal do trabalho.

Durante a primeira parte do processo de desenvolvimento do trabalho, serão utilizados como base obras bibliográficas como, por exemplo, alguns textos de Moreira (2018), Batista e Blini (2009) e o livro de Goldemberg (2005), dentre outras já citadas no referencial teórico deste trabalho, que irão abranger a compreensão das metodologias ativas experimentais, além dos livros com enfoque na descrição dos conceitos fundamentais da aerodinâmica, tal como a obra de Jorge Homa: “Aerodinâmica e teoria de voo”. Vale lembrar, também, da utilização de alguns materiais digitais como Google Scielo, além de consultas em livros em formato físico.

Já na segunda parte, serão utilizados formulários sobre alguns dos principais fundamentos da aerodinâmica, como, por exemplo, a sustentação e o arrasto, essenciais à prática de voo, com a finalidade de coleta de dados referentes a testes em plataformas virtuais experimentais relacionadas a fundamentos físicos, executados pelos próprios cadetes, seguindo um roteiro de elaboração própria sobre os efeitos da variação do ângulo de ataque e da velocidade do ar em relação à sustentação, arrasto e o Estol (tópicos relacionados aos fundamentos da aerodinâmica abordados na

pesquisa). A princípio, será utilizada a seguinte plataforma de simulador para a execução dos procedimentos dos experimentos: Physics Simulation | CK-12 Foundation. Dentre os oito cadetes voluntários para realizar o experimento, somente quatro os farão e logo em seguida responderão o questionário. Os demais cadetes realizarão o questionário sem fazer o experimento. Essas duas partes serão analisadas e comparadas quanto ao avanço desses experimentadores, com a finalidade de verificar possíveis e prováveis evoluções, com o auxílio dos ensaios na compreensão dos fundamentos aerodinâmicos pelos cadetes. Os resultados desse questionário servirão para, possivelmente, corroborar a argumentação do trabalho no que diz respeito às metodologias ativas experimentais conceituadas neste projeto.

A terceira parte consiste na conclusão do trabalho, tendo como base todos os elementos abordados anteriormente referente às práticas experimentais baseadas em metodologias ativas, além da análise dos resultados obtidos por meio dos formulários.

Sendo assim, após a elaboração dessas três etapas e o estudo dos dados coletados, que será feito de forma exploratória, sem cálculos estatísticos, mas que poderão ser elaborados no futuro por outros trabalhos relacionados a este tema, podendo ser utilizado um maior espaço amostral para um resultado mais preciso, espera-se atingir o objetivo desta pesquisa em relação à utilização da Física Experimental como ferramenta fundamental à compreensão mais efetiva e significativa de fundamentos aerodinâmicos aplicados à atividade aérea no Curso de Oficiais Aviadores da Academia da Força Aérea.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A FÍSICA EXPERIMENTAL E METODOLOGIA ATIVA

De acordo com Moreira (2018), na maioria dos casos, ao lecionar sobre Ciências, mais especificamente a Física, não se leva em questão o estímulo da criatividade como algo importante, como se essa disciplina fosse baseada somente em problemas em que já existem respostas concretizadas e corretas, com isso, grande parte dos discentes tendem a ter uma percepção que essa matéria é difícil ou desagradável. Ademais, ainda segundo esse autor, após muitos estudos sobre o ensino da ciência, expõe-se que nenhuma técnica se classifica em sua totalidade como eficaz. Tal fato pode ser visto nas universidades, em que, mesmo os alunos que possuem notas excelentes somente estudando de forma intensa para as provas, na maioria das vezes, têm seu conhecimento

esmaecido de maneira rápida durante o tempo. Assim, conforme José Moran (2018) dizia, aprender ativamente pode tornar a cognição de um determinado indivíduo mais flexível, ou seja, ela ajuda a alternar e executar tarefas diferenciadas, além de contribuir para uma melhor adaptação a condições inesperadas, indo contra a pouca eficiência do automatismo.

Existem vários tipos de modelos de ensino, dentre eles, encontra-se o Tradicional, que se baseia na narrativa, através da transferência de conhecimentos por meio da fala, enquanto os discentes os recebem de forma passiva, adquirindo os ensinamentos que não tinham antes, permanecendo na imaginação. Há também a aprendizagem mecânica em que a informação é absorvida literalmente somente na memorização, sem que o aluno realmente compreenda o que foi exposto. Todavia, um bom processo de aprendizagem seria fundamentado em um ensinamento significativo e duradouro. O lecionamento significativo está relacionado à internalização de novos conhecimentos que ganharam significado, foram compreendidos e transferidos e, com isso, podem ser aplicados a novas situações (MOREIRA, 2018). Assim, observa-se a complexibilidade da evolução do processo intelectual, fazendo com que o aluno assuma diversas frentes de trabalho investigativo que irão incentivar diferentes métodos cognitivos como, por exemplo, fazer indagações, tatear e se permitir errar, observar, dentre outras atividades (BATISTA, BLINI, 2009, p.45).

Segundo Studart (2019), é possível salientar que as metodologias práticas são de grande importância para que os indivíduos em processo de aprendizagem consigam construir e compreender os assuntos expostos nas aulas por meio de sua atuação ativa. Esse tipo de método de ensino prático despertaria o interesse dos discentes (MOREIRA, 2018). Para este mesmo autor, o ensino, em sua maioria, está voltado mais para o automatismo do discente, fazendo com que os alunos só estejam treinados para dar respostas prontas, porém, o aprendizado deveria estar focado no estudo significativo que se basearia no uso de meios tecnológicos e outras formas práticas mais atuais que supram os conhecimentos exigidos nos dias contemporâneos. Dessa forma, vale ressaltar que a evolução do mundo, com o passar do tempo, fez com que os tradicionais regimes educacionais fossem revistos, mostrando que é importante que se leve em consideração as necessidades e demandas da sociedade atual.

Com isso, segundo Da Silva e De Bem Machado (2017), a metodologia ativa atua através de problemas que estimulam os alunos a refletirem e que, com isso, consigam ressignificar essas novas descobertas de forma simples, aplicando-as em sua rotina diária.

3.1.1 Contribuições das metodologias ativas na aprendizagem

Para expor o quanto as metodologias ativas contribuem para o aprendizado, as autoras Diesel, Baldez e Martins (2017) fizeram uma imagem que mostram os pontos que direcionam esse método:



Figura 1 Princípios que constituem as metodologias ativas do ensino

Fonte: Aline Diesel; Alda Leila Santos Baldez; Silviana Neumann Martins; Artigo: Os princípios das metodologias ativas do ensino; uma abordagem teórica. Revista Thema; 2017; p.273.

Conforme a figura acima, segundo essas autoras, percebe-se que esses tópicos contém aspectos que colaboram com a evolução do processo de ensino através de uma aula utilizando métodos de aprendizagem ativas. Além disso, verifica-se que, com o trabalho em equipe, os discentes poderão desenvolver ideias inovadoras, tópico relacionado à Inovação, e analisar de forma mais crítica o assunto abordado, fazendo referência à Reflexão. Isso fará com que eles fujam da normalidade do senso comum, construindo novos pensamentos e respeitando o ponto de vista de cada membro do grupo. Quanto à autonomia dos alunos, estes teriam a liberdade de decidir ações mediante às dificuldades e impasses apresentados durante a instrução. No que se refere ao tópico: Problematização da realidade, este permite que se tirem conclusões por meio de eventos ocorridos no dia a dia. Para finalizar, toma-se como meta desse método de aprendizagem o ensino focado no discente, fazendo este a pessoa ativa no progresso do aprendizado.

3.2 AERODINÂMICA

Segundo Bianchini (2015), um piloto deve conhecer a máquina na qual irá alçar seus voos e os efeitos que esta pode estar submetida durante a atividade aérea, fazendo com que domine melhor sua aeronave nas mais diversas situações, para isso, o avião deve ter em mente as forças que irão atuar no avião como, por exemplo, a sustentação, arrasto, peso e tração, além de outros conceitos que serão expostos a seguir, os quais auxiliarão a uma melhor compreensão da física relacionada ao voo.

3.2.1 Princípio de Bernoulli

De acordo com livro de Denis Bianchini, “Teoria de Voo”, o conceito do Princípio de Bernoulli está relacionado à velocidade de um fluido e sua pressão, em que essas duas grandezas são inversamente proporcionais. Quando se observa um aumento de velocidade, a pressão tende a diminuir. Esse princípio é utilizado para compreender o motivo da pressão do intradorso da asa ser superior a do extradorso, fazendo com que haja sustentação da asa.

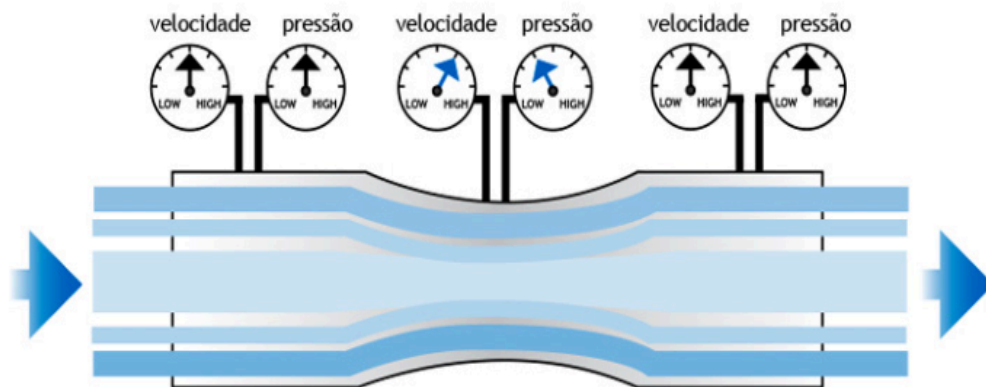


Figura 2 Tubo de Venturi

Fonte: Bianchini (2015).

Ao observar a imagem acima acerca de um Tubo de Venturi, comprova-se justamente a teoria de que quando há uma elevação na velocidade do fluido, conseqüentemente sua pressão reduzirá.

Esse fato expõe o que acontece com o ar ao passar sobre a superfície de curva da asa, conforme a figura abaixo:

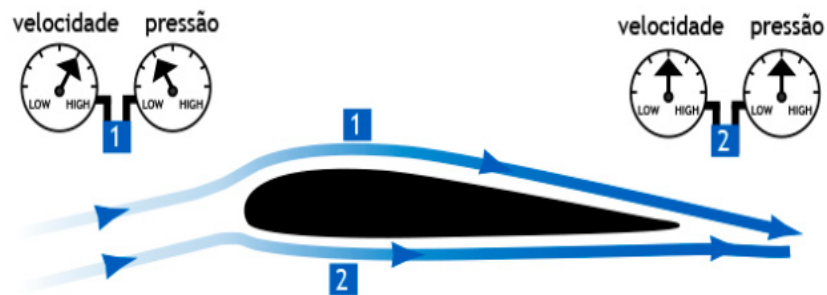


Figura 3 Fluxo de ar em contato com o aerofólio, demonstrando a teoria do Princípio de Bernoulli.

Fonte: Bianchini (2015).

3.2.2 Escoamento externo e camada limite

Segundo o livro de Jorge Homa, Aerodinâmica e teoria de voo, o Escoamento Externo se trata de um fluido que se move sobre uma superfície, podendo este ser Laminar ou Turbulento. A partir desse conceito, pode compreender melhor a definição de camada limite que, conforme Freire (2012), está relacionada ao contato entre um fluido e uma superfície sólida, em que a parte do fluido que está aderida à parede desse sólido possui velocidade nula devido às forças de atrito que atuam nessa interação entre esses dois elementos. Esta fina camada cuja velocidade do fluido é nula é denominada camada limite.

3.2.3 Forças aerodinâmicas que atuam em uma aeronave

De acordo com Bianchini (2017), em uma aeronave, pode-se analisar quatro forças atuantes durante o voo que seriam: peso, sustentação, arrasto e tração. A compreensão de como a aeronave reage à atuação dessas forças pode auxiliar o piloto a melhorar sua pilotagem.

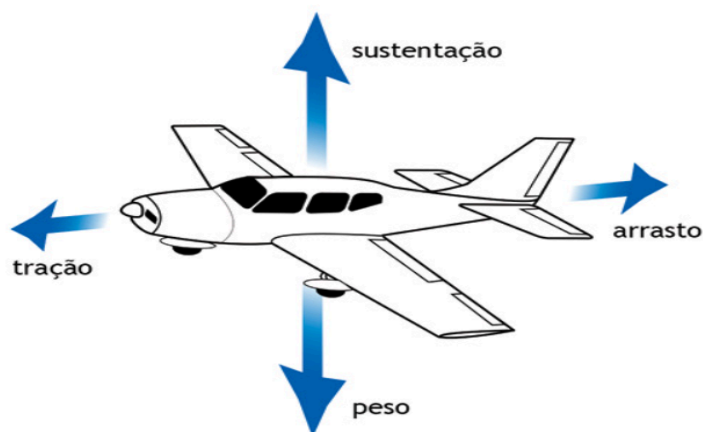


Figura 4 Forças aerodinâmicas que atuam numa aeronave.

Fonte: Bianchini (2015).

Quando um avião se encontra em movimento retilíneo uniforme terá todas essas quatro forças em equilíbrio. A definição dessas forças será feita a seguir e terão como referencial os conceitos de Bianchini (2015).

3.2.3.1 *Peso*

O peso é uma força gerada pela gravidade. Ele atua sobre o centro de gravidade de um corpo e possui direção vertical e sentido ao centro da Terra. O peso é contraposto pela força de sustentação, que possui a mesma direção e sentido oposto ao peso, fazendo com que uma aeronave saia do solo quando é maior ou igual ao peso.

3.2.3.2 *Sustentação*

A sustentação possui como definição a força aerodinâmica total que age perpendicularmente à direção do vento relativo. Ela, ao possuir uma componente maior que o peso, possibilita que a aeronave voe. A asa de uma aeronave é um aerofólio que gera a maior parte da sustentação, sendo seu perfil adaptado para cada tipo de avião e as necessidades que ele exigirá, geralmente o perfil mais utilizado é o assimétrico devido à performance explicada pelo princípio de Bernoulli, em que a

maior curvatura na parte superior da asa implica para o aumento do fluxo de ar e a diminuição da pressão estática no intradorso, gerando uma maior sustentação.

Acrescenta-se também que o ângulo de ataque está altamente relacionado à sustentação: Quanto maior o ângulo de ataque, maior a sustentação gerada. A partir de um certo ângulo, a sustentação começa a diminuir, fazendo com que os filetes de ar se desprendam do aerofólio e, conseqüentemente, provoquem um turbilhonamento. Um exemplo disso seria o gráfico da Figura 5, que aborda justamente essa interação entre o ângulo de ataque e o coeficiente de sustentação. Este fato fará com que haja um queda considerável na sustentação e um aumento do arrasto, causando, assim, o Estol, que será melhor abordado posteriormente.

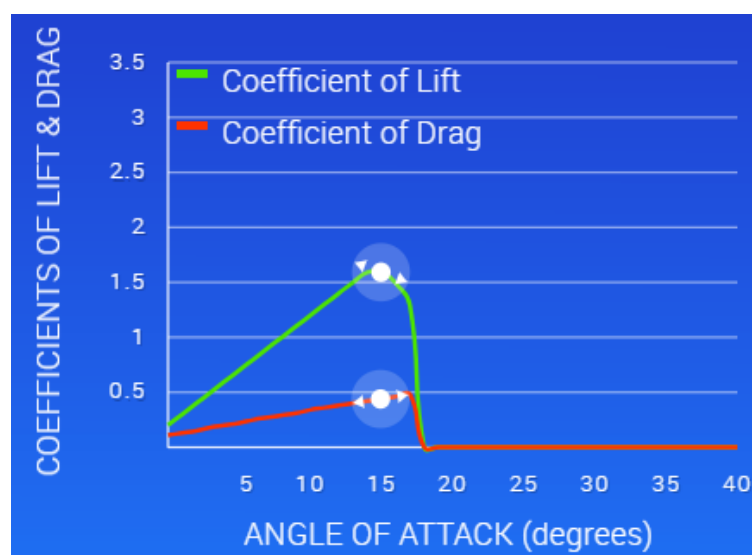


Gráfico 1 Relação entre o ângulo de ataque e os coeficientes de sustentação e arrasto

Fonte: Physics Simulation | CK-12 Foundation

3.2.3.3 Arrasto

O arrasto é definido pela força que possui resistência e é oposta ao sentido que a aeronave se desloca. Sua ação ocorre paralelamente ao vetor do vento relativo, acompanhando sua direção.

3.2.3.4 Tração

Este termo possui relação com a força ocasionada por um grupo motopropulsor. Esta força atua na mesma direção do movimento da aeronave, porém possui sentido contrário ao da força de

arrasto, que tende a resistir ao deslocamento. Para que a aeronave mantenha voo reto e nivelado, a tração e o arrasto deverão ter a mesma intensidade.

3.3 APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO E COLETA DE DADOS

Com a conceituação dos termos relacionados à aerodinâmica e às metodologias ativas, pode-se compreender melhor como o experimento será executado, além de conseguir visualizar o objetivo que será atingido ao final da coleta de dados, a qual, por sua vez, demonstrará se a Física experimental auxilia na compreensão dos conceitos aerodinâmicos do voo. Primeiramente, foi realizado um experimento na plataforma virtual, Physics Simulation | CK-12 Foundation, por cadetes do 2º ano do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA), analisando os seguintes termos: Estol, Camada Limite, Arrasto e Sustentação. O roteiro do experimento estará no Apêndice A, deste trabalho. Foi utilizada uma amostra de oito cadetes, que não foram identificados, dentre os quais, somente quatro fizeram o experimento. Todos os cadetes responderam a um formulário, vide Apêndice B, com questões que abordaram assuntos relacionados às variáveis analisadas no experimento, de forma que, tanto quem realizou o experimento quanto quem não o praticou, conseguiu respondê-lo. O formulário foi dividido em duas seções A e B, contendo as mesmas questões, a primeira sendo respondida pelos cadetes que fizeram o experimento no simulador, e a segunda respondida pelos demais cadetes. Isso foi feito com o intuito de comparar o tempo e a qualidade das respostas desses dois grupos de cadetes. Portanto, será possível verificar se a utilização do simulador ajudou os cadetes a responder esse formulário de forma mais rápida e com mais facilidade do que os cadetes que não o utilizaram.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a execução do experimento e a coleta de dados, será analisado a seguir as respostas dos dois grupos de cadetes que fizeram o questionário, comparando-as e, em seguida, verificando se a Física experimental realmente faz diferença no discernimento do discente acerca dos princípios relacionados à aerodinâmica na atividade aérea.

4.1 ANÁLISE DA COLETA DE DADO

4.1.2 Análise das questões quantitativas do questionário presente no Apêndice B deste trabalho

1. Quando o ângulo de ataque aumenta de 10° para 20° , o que acontece com a força de arrasto?

2 / 4 respostas corretas

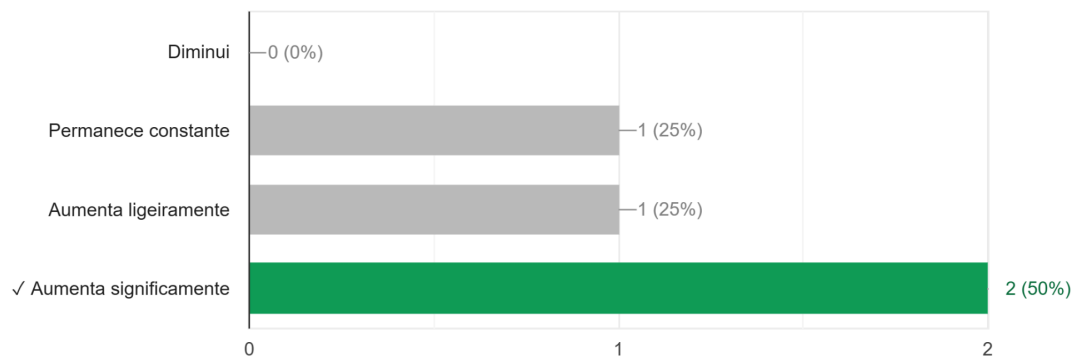


Gráfico 2 Primeira questão quantitativa respondida pelo Grupo B referente ao ângulo de ataque e força de arrasto

Fonte: elaboração própria

1. Quando o ângulo de ataque aumenta de 10° para 20° , o que acontece com a força de arrasto?

1 / 4 respostas corretas

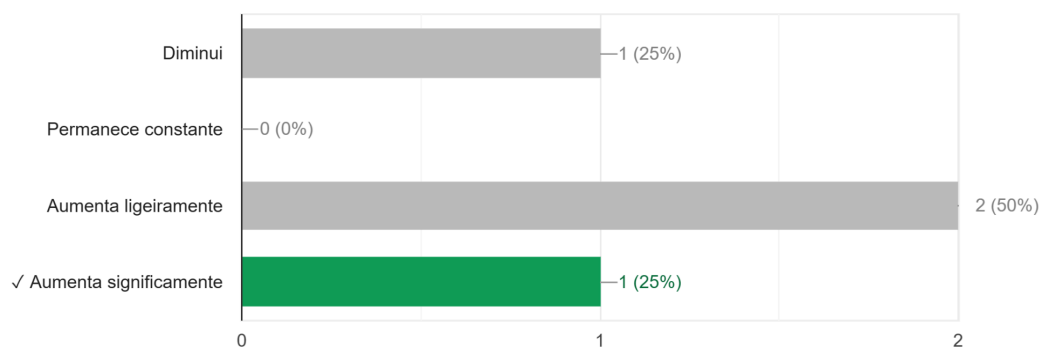


Gráfico 3 Primeira questão quantitativa respondida pelo Grupo A referente ao ângulo de ataque e força de arrasto

Fonte: elaboração própria

Ao analisar os gráficos acima, nota-se que o grupo B obteve um maior número de acertos do que o grupo A quanto à primeira pergunta acerca da variação do ângulo de ataque tendo relação com o arrasto, porém, ao averiguar os gráficos 4 e 5, percebe-se que todos os componentes do grupo A responderam corretamente à questão 3, todavia, no grupo B, verificou-se que um cadete errou a

mesma. Todos os cadetes de ambos os grupos acertaram as demais perguntas quantitativas do formulário, cujas respostas estão expostas nos Apêndices C e D deste trabalho. Desse modo, verifica-se que os dois grupos, no geral, obtiveram o mesmo desempenho quanto aos conteúdos dessas questões objetivas.

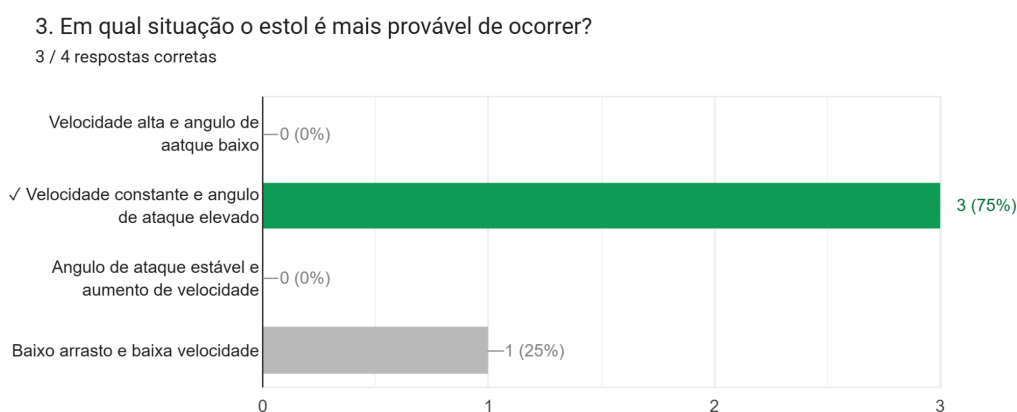


Gráfico 4 Terceira questão quantitativa respondida pelos cadetes do Grupo B sobre a situação mais provável do estol acontecer

Fonte: elaboração própria

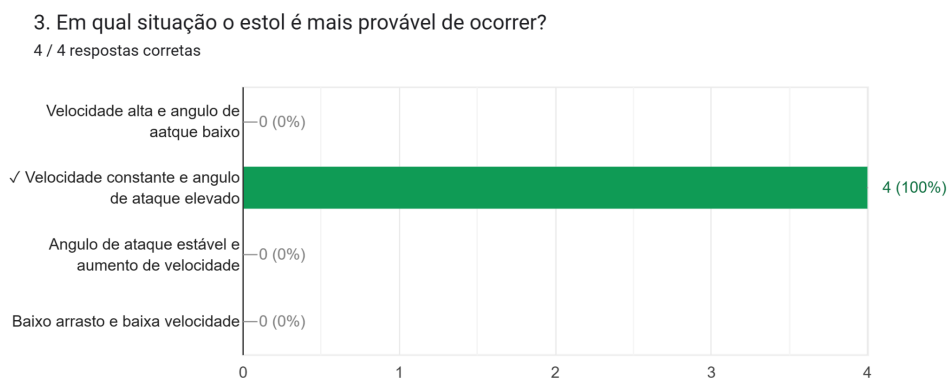


Gráfico 5 Terceira questão quantitativa respondida pelos cadetes do Grupo A sobre a situação mais provável do estol acontecer

Fonte: elaboração própria

4.1.3 Análise das questões qualitativas do questionário presente no Apêndice B deste trabalho

Quanto às perguntas de caráter qualitativo, observou-se que os cadetes que realizaram o experimento, pertencentes ao grupo A, responderam com mais embasamento e conhecimento teórico do que os cadetes que não o fizeram, que estavam compondo o grupo B. Esse primeiro grupo conseguiu atingir um nível de conhecimento mais crítico e objetivo em comparação com os demais cadetes. Com isso, pode-se comprovar o que Moreira (2018) dizia a respeito do discernimento dos discentes de forma mais realista e sólida, não somente permanecendo no mundo das ideias, podendo, assim, o aluno expor seu conhecimento, a partir da análise prática, de maneira mais precisa e confiante.

Dessa forma, exemplifica-se este fato com algumas questões do formulário expostas abaixo, que mostram as respostas de cada cadete de ambos os grupos. As demais respostas estarão presentes nos Apêndices C e D desta pesquisa.

4.1.3.1 Explique por que a sustentação diminui abruptamente após o ângulo de ataque, Dê exemplos.

Resposta padrão: O ângulo de ataque, ao ultrapassar seu valor crítico, faz com que o fluxo de ar sobre a asa se separe do extradorso.

A sustentação diminui rapidamente após atingir-se o ângulo de ataque pois, nesse momento, o ar que atinge as asas do avião, devido ao seu perfil aerodinâmico e ao ângulo com que as camadas de ar encontram o aerofólio, não consegue mais escorrer-se normalmente em camadas laminares ao longo da superfície. A asa passa a virar apenas uma "parede" para o ar. Por exemplo, um avião de caça é feito com um perfil de asa de modo que o ar acompanhe seu contorno quando passar por ele em alta velocidade, porém, a partir de um certo ângulo, as moléculas de ar que se chocam com as asas do avião são rebatidas de forma que não acompanham mais o perfil da asa, sendo espalhadas por todos os lados, gerando turbulência.

Pois o ângulo crítico é o "limite da sustentação" do avião, ao passar dele, perdemos toda ela. Ex.: Parafuso

Com o aumento do ângulo de ataque, na decomposição das forças, a força sustentação precisa ser maior que a força do torque. Porém, existe um ângulo que a sustentação não vai ser capaz de aumentar mais devido necessidade de se igualar a força peso. Esse ângulo é o ângulo de ataque crítico, que o peso se torna maior que a sustentação e as forças não se anulam, gerando um estol na aeronave. Exemplo: um T-25 vindo para pouso e arredondou alto, levando o nariz muito pra cima e atingindo uma velocidade baixa e de estol, fazendo o avião despencar e perder a energia total.

Devido à força e à pressão com que o vento passar a agir sob as superfícies sustentadoras. Ex.: quanto maior o ângulo de ataque, menor a área de contato com o vento, o que faz a sustentação cair

Figura 5 Questão 5 do questionário respondido pelos cadetes do Grupo B sobre a relação entre a sustentação e ângulo de ataque

Fonte: elaboração própria

Pois ao chegar no ângulo de ataque crítico a superfície aerodinâmica sofre um quebra da sua "camada limite", gerando turbulência e arrasto fazendo com que a Sustentação seja quase nula.

Isso acontece porque quando atingimos o ângulo de ataque crítico nós temos uma grande queda do coeficiente de sustentação e de arrasto, explicado pelo "descolamento" do vento que passa pelas asas, fazendo com que a aeronave entre em uma situação de estol. Isso é possível de perceber ao realizar um estol com motor, onde mesmo com velocidade ao atingirmos o ângulo crítico o avião acaba estolando.

Após atingir o ângulo crítico, como o ar é um fluido, a camada limite de ar, que fica embaixo do avião e que o sustenta, se descola, permitindo que o avião perca imediatamente a sustentação, e entre em situação de estol.

Após o ângulo crítico de ataque, ocorre o descolamento da camada de ar responsável por gerar a sustentação nas asas, fazendo com que haja turbilhonamento do ar e queda brusca de sustentação.

Figura 6 Questão 5 respondida pelos cadetes do Grupo A sobre a relação entre a sustentação e ângulo de ataque

Fonte: elaboração própria

Ao analisar as imagens acima sobre a quinta questão do formulário que aborda o efeito do ângulo de ataque na sustentação, observa-se que os cadetes do grupo A fizeram uma argumentação de forma mais objetiva e expuseram conceitos a respeito da camada limite, coeficiente de arrasto e de sustentação, que, segundo Bianchini (2015), estão intrinsecamente relacionados à sustentação. Todos esses termos foram testados no experimento, fazendo com que os cadetes compreendessem melhor o efeito que eles corroboram em uma aeronave. Já os cadetes do grupo B apresentaram ideias corretas, porém sem demonstrar conhecimentos específicos conforme citado anteriormente pelo outro grupo.

4.1.3.2 Como a camada limite contribui para o estol da aeronave? Relacione com o fluxo de ar sobre a asa.

Resposta padrão: A camada limite é definida pelo fluxo de ar que permanece em contato com a superfície da asa, cuja velocidade do fluido sofre influência do atrito com a superfície. Quando essa camada se desprende da parte externa da asa, ocorre uma perda de sustentação e, conseqüentemente, poderá ocasionar em um Estol.

O estol ocorre no momento em que a camada limite se desprende do aerofólio. Ela é entendida como a camada de escoamento laminar mais próxima à superfície da asa, sobre a qual as outras passam constantemente. Se a camada limite descolar-se da asa, então não haverá mais linhas de fluxo seguindo o contorno dos aerofólios do avião, o que fará com a diferença de pressão entre o intradorso e o extradorso deixe de existir, gerando o estol.

Não sei.

A camada limite é a superfície que faz a sustentação ser gerada. A massa de ar que passa tangenciando a superfície da asa que faz a sustentação ser gerada. Quando ocorre o descolamento dessa massa de ar, a sustentação é perdida e dali gera um ar turbulento que pode causar instabilidade na aeronave. Sendo assim, a camada limite está diretamente ligada ao estol da aeronave, pois sem sustentação que a aeronave estola.

Quando a camada de ar em contato com o avião é pequena, ocorre a perda de sustentação devido à falta de pressão exercida pelo fluxo de ar no intradorso.

Figura 7 Questão 6 do questionário respondido pelos cadetes do Grupo B referente à contribuição da camada limite e o estol

Fonte: elaboração própria

A camada limite contribui para o estol pois a seu descolamento da superfície aerodinâmica (como uma asa) representa que atingimos o estol através do turbilhonamento de ar gerado na mesma.

A camada limite seria o fluxo de ar que gera a sustentação para a aeronave, ou seja, o fluxo de ar que passa sobre a asa e permanece nela sem se descolar gera a força para manter a aeronave voando. Quando ocorre esse deslocamento do fluxo de ar ocorre o estol da aeronave devido a essa perda na sustentação

A quebra da camada limite permite que o avião entre em situação de estol. Nesse sentido, a camada limite está no fluxo de ar abaixo do plano de asa do avião.

A camada limite seria equivalente ao ângulo de ataque máximo, ou seja, após o descolamento dessa camada, ocorre o estol. O fluxo de ar nas asas está diretamente relacionado a tal camada, pois quando ela se descola, o fluxo de ar é turbilhonado, gerando o estol.

Figura 8 Questão 6 do questionário respondido pelos cadetes do Grupo A referente à contribuição da camada limite e o estol

Fonte: elaboração própria

No que tange às imagens acima, que mostram as argumentações dos discentes sobre a questão 6 (seis) do formulário, nota-se os mesmos aspectos referentes à pergunta qualitativa anterior quanto aos conceitos e objetividade do grupo A quanto ao outro grupo. Ademais, nessa questão, foi observado um cadete do grupo B que não soube responder.

4.1.4 Análise do tempo médio de conclusão do questionário dos grupos A e B

Esta análise foi feita baseada na média aritmética dos tempos de execução do formulário de cada integrante de ambos os grupos, apresentada na tabela abaixo. Foi realizada a soma de todos os tempos de cada cadete por grupo e, após isso, dividiu-se pela quantidade de seus componentes. Com isso, verifica-se que o tempo médio do Grupo A foi menor, comparando-se com a média do Grupo B, mostrando que o grupo A, provavelmente, possui um conhecimento mais enraizado, conseguindo expô-lo de maneira mais ágil do que o outro grupo. Assim, observa-se que a utilização de práticas experimentais, conforme Studart (2019), são extremamente importantes a fim de aprimorar o desenvolvimento da aprendizagem dos discentes e que, por sua vez, possam ampliar seus horizontes no que concerne aos estudos, entendendo os ensinamentos transmitidos em sala de aula através dessas metodologias ativas.

Tabela 1 Tempo médio de execução do questionário dos Grupos A e B

Grupo	Tempo
A	19 min
B	24 min

Fonte: Elaboração própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após toda a análise realizada, verifica-se que a Física experimental, como metodologia ativa, auxilia os cadetes do Curso de Formação de Oficiais Aviadores da Academia da Força Aérea na compreensão dos fundamentos da aerodinâmica do voo. Com a utilização do simulador, Physics Simulation | CK-12 Foundation - Airplane, além da formulação de um questionário, abordando conceitos relacionados à camada limite, sustentação, arrasto e estol, aplicado a dois grupos de cadetes contendo, cada um, quatro integrantes, foi possível executar uma investigação crítica a respeito da diferença de respostas e argumentações, principalmente quanto às questões qualitativas, entre os cadetes que realizaram o experimento na plataforma e os que não o fizeram. Outrossim, destaca-se o tempo médio de execução de cada grupo, em que pode-se observar a facilidade do grupo A em relação ao B, tendo este um tempo maior do que aquele. Com isso, pode-se evidenciar,

conforme dizia Da Silva e De Bem Machado (2017), que essas práticas de ensino e aprendizagem ativos estimulam os discentes a uma melhor reflexão, fazendo com que eles consigam ressignificar os ensinamentos adquiridos e pô-los em prática de maneira mais simples e fácil.

Portanto, é possível afirmar que, embora a amostra utilizada tenha sido pequena por questões administrativas, mesmo assim os resultados obtidos fizeram com que o objetivo do trabalho fosse parcialmente atingido quanto ao conceito de que a Física experimental ajuda na aprendizagem dos cadetes do CFOAV no que tange aos princípios aerodinâmicos interligados à atividade aérea. Todavia, pode-se validar melhor essa afirmação, realizando possíveis pesquisas e utilizando cálculos estatísticos, que fariam a comparação dos graus das notas de voo dos cadetes que tiveram contato com a Física Experimental com os demais cadetes, analisando, assim, se houve diferença entre essas notas. Além disso, aconselha-se analisar um espaço amostral maior de acordo com a disponibilidade vigente.

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esta pesquisa, desejaria fazer um agradecimento ao meu orientador Ten QOCON Douglas Henrique Queiroz de Carvalho por ajudar-me em todas as etapas do processo de execução deste trabalho, sempre à disposição para realizar verificações de erros e acertos, além de encaminhar-me para o caminho certo a fim de atingir o objetivo da pesquisa. Outrossim, destaco a participação dos cadetes do Segundo Esquadrão da Academia da Força Aérea, os quais se voluntariaram para participar do experimento e fazer o questionário, mesmo após a rotina, sendo proativos e interessados no assunto abordado deste trabalho.

APÊNDICE A - ROTEIRO EXPERIMENTAL DA ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS AERODINÂMICOS EM UMA AERONAVE

Este Roteiro tem como objetivo investigar de forma experimental os efeitos da variação do ângulo de ataque e da velocidade do ar em relação à sustentação, arrasto e o Estol. Será utilizado a plataforma de simulação Physics Simulation | CK-12 Foundation - Airplane. O roteiro foi feito por elaboração própria, levando em consideração esses efeitos que estão presentes na atividade aérea.

Plataforma

Simulação CK-12 - Airplane: <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/airplane/app>

Materiais virtuais necessários

- Computador ou tablet com acesso à internet
- Simulação “Airplane” CK-12
- Planilha para registro de dados
- Cronômetro

Procedimentos

Parte 1 - Influência do ângulo de ataque na sustentação e arrasto

1. Acesse o simulador pelo site
2. Fixe o vetor Tração (Thrust) em 20% primeiramente
3. Varie o ângulo de ataque entre 0° e 30° em incrementos de 5° .
4. Para cada valor, registre o coeficiente de sustentação (Lift), arrasto (Drag) e identifique em qual angulação ocorreu o estol.
5. Faça uma tabela com os dados obtidos. Pegue como base os valores do coeficiente de arrasto e sustentação do gráfico disponibilizado pelo próprio simulador.

Parte 2 - Influência da velocidade na sustentação - Considera-se a influência do vetor Tração (Thrust) na sustentação.

1. Fixe o ângulo de ataque em 10° .
2. Varie o vetor tração (Thrust) entre 20% e 80% com variações crescente de 20% entre elas.
3. Registre os valores de sustentação e arrasto para cada porcentagem.

4. Represente os resultados em gráficos. Pegue como base os valores do coeficiente de arrasto e sustentação do gráfico disponibilizado pelo próprio simulador.

Análise de dados

Deverá ser analisado o comportamento da sustentação com o aumento do ângulo de ataque. Além disso, deverá ser avaliado como a tração, relacionada à velocidade, influenciará no aumento da sustentação. Por fim, será possível explicar a relação entre a Camada limite e o Estol.

Conclusão esperada

Após a análise, busca-se inferir que a sustentação aumenta com o ângulo de ataque até um determinado ponto, que seria o ângulo de ataque crítico. Afirma-se, do mesmo modo, que o arrasto aumenta com o ângulo de ataque e a velocidade. Nota-se, também, que a separação da camada limite leva ao estol e perda de sustentação. Dessa forma, compreende-se os efeitos aerodinâmicos fundamentais relacionados ao voo e a importância do controle do ângulo de ataque e da velocidade para evitar uma situação crítica de Estol durante os voos.

APÊNDICE B - FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO RELACIONADO AOS CONCEITOS AERODINÂMICOS NO VOO

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO RELACIONADO AOS CONCEITOS AERODINÂMICOS NO VOO

Este formulário tem como objetivo analisar os conhecimentos dos cadetes do 2º esquadrão do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA), que estão tendo seu primeiro contato com a atividade aérea e já adquiriram um conhecimento prévio acerca dos conceitos relacionados aos princípios aerodinâmicos presentes na atividade aérea na disciplina de Teoria de Voo contidos na grade curricular desse curso de formação. O formulário abordará questões sobre camada limite, efeitos da variação do ângulo de ataque e da velocidade do ar em relação à sustentação, arrasto e o Estol.

guimares2022@gmail.com [Mudar de conta](#)



 Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

Formulário A ou B? *

A

B

Avançar



Página 1 de 3

Limpar formulário

1. Quando o ângulo de ataque aumenta de 10° para 20°, o que acontece com a força de arrasto? *

- Diminui
- Permanece constante
- Aumenta ligeiramente
- Aumenta significativamente

2. Quando a velocidade do ar aumenta com o ângulo de ataque constante, o que ocorre com a força de sustentação? *

- Diminui gradualmente
- Permanece constante
- Aumenta proporcionalmente
- Oscila aleatoriamente

3. Em qual situação o estol é mais provável de ocorrer? *

- Velocidade alta e angulo de aatque baixo
- Velocidade constante e angulo de ataque elevado
- Angulo de ataque estável e aumento de velocidade
- Baixo arrasto e baixa velocidade

4. O que pode ser observado no comportamento do avião imediatamente após atingir o ângulo de estol? *

- Aumento repentino da sustentação
- Redução do arrasto
- Queda brusca da sustentação e controle do voo
- Estabilização do voo automaticamente

5. Explique por que a sustentação diminui abruptamente após o ângulo crítico de ataque. Dê exemplos. *

Sua resposta

6. Como a camada limite contribui para o estol da aeronave? Relacione com o fluxo de ar sobre a asa. *

Sua resposta

7. Por que o ângulo de ataque deve ser aumentado na decolagem e pouso? Como flaps e slats contribuem nesse processo? *

Sua resposta

8. Qual a importância de entender os gráficos de coeficientes de sustentação e arrasto em função do ângulo de ataque para um piloto militar? *

Sua resposta

9. Descreva uma situação em que o avião pode entrar em estol mesmo em alta velocidade. O que isso revela sobre o controle em manobras de combate? *

Sua resposta

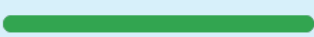
Tempo total de resposta do formulário (XX minutos: XX segundos) *

Horário

__ : __

[Voltar](#)

[Enviar](#)

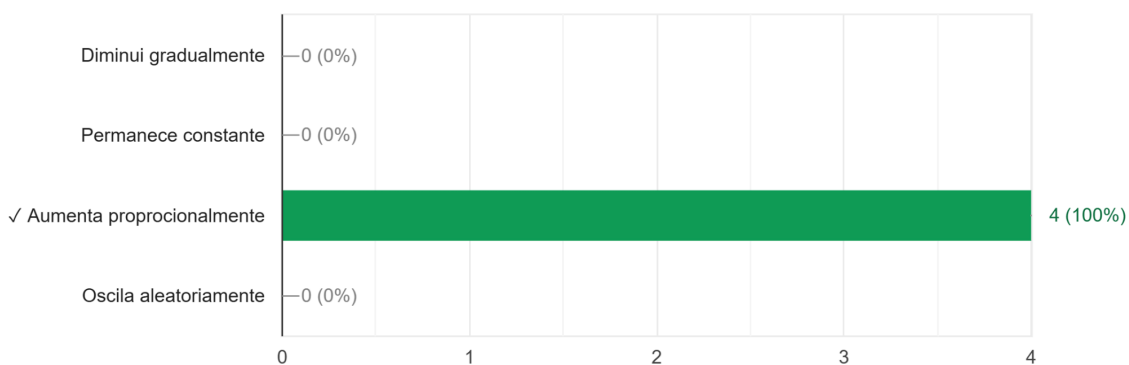
 Página 3 de 3

[Limpar formulário](#)

APÊNDICE C - RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO DOS CADETES PERTENCENTES AO GRUPO A

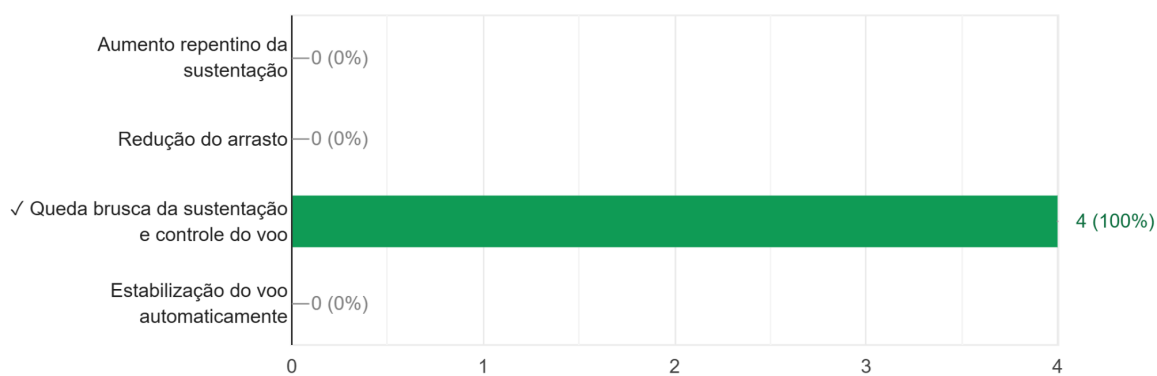
2. Quando a velocidade do ar aumenta com o ângulo de ataque constante, o que ocorre com a força de sustentação?

4 / 4 respostas corretas



4. O que pode ser observado no comportamento do avião imediatamente após atingir o ângulo de estol?

4 / 4 respostas corretas



7. Por que o ângulo de ataque deve ser aumentado na decolagem e pouso? Como flaps e slats contribuem nesse processo?

4 respostas

Para que a aeronave ganhe mais Sustentação utilizando menos velocidade. Flapes ou slats, ou seja, dispositivos Hiper-sustentadores são utilizados por exemplo para encurtarem uma decolagem, fazendo com que um avião decole com menos pista.

O ângulo de ataque deve ser aumentado pois como estamos em situações de menor velocidade é necessário de um ângulo de ataque maior para gerar mais sustentação. Os flapes e os slats aumentam o ângulo de ataque crítico e aumentam também a sustentação gerada pelo vento juntamente com o arrasto, sendo possível um melhor controle da aeronave no pouso.

Deve ser aumentado para aumentar a força de sustentação da aeronave e não permitir que ela entre em estol a baixa altura. Flaps e slats aumentam consideravelmente a sustentação da aeronave, pois são superfícies hiper sustentadoras.

O ângulo de ataque deve ser aumentado por que quanto maior o ângulo de ataque, maior a sustentação, considerando, claro, o limite estabelecido pela velocidade. Dessa forma, os flaps e slats atuam como superfícies geradoras de sustentação, pois alteram o perfil aerodinâmico das asas e permitem que uma velocidade menor seja atingida sem que aja perda de sustentação.

8. Qual a importância de entender os gráficos de coeficientes de sustentação e arrasto em função do ângulo de ataque para um piloto militar?

4 respostas

Faz com que o aviador compreenda de modo mais efetivo os limites de sua aeronave e o que isso representa na prática. Por exemplo, um Cadete Aviador pode ter uma noção melhor de Tráfego de Emergência em Campo Preparado ao entender os "Porquês" de sua aeronave possuir diferentes razões de planeio durante as diferentes configurações do exercício.

A importância é entender as diferentes maneiras que a aeronave reage e agregar mais segurança na pilotagem, o aumento da consciência situacional fará com que o piloto por compreender melhor a dinâmica do voo tenha respostas mais precisas e seguras durante a prática aérea

É importante para que o piloto militar tenha uma melhor compreensão das forças atuantes e da tendência da aeronave durante o voo, para que, em situações críticas, como pousos, decolagens, e em situações de emergência, ele possa raciocinar e tomar a decisão assertiva baseado no conhecimento aerodinâmico.

Tal entendimento é fundamental não somente para os pilotos militares como também para pilotos civis, visto que a falta de compreensão desses conceitos pode levar a uma situação crítica. Especificamente para o piloto militar, entende-se que em muitas ocasiões será necessário levar a aeronave ao extremo para uma maior eficácia no cumprimento da missão. Assim, é necessário que se tenha um bom entendimento desses conceitos para que mesmo em situações adversas não ocorra uma tragédia.

9. Descreva uma situação em que o avião pode entrar em estol mesmo em alta velocidade. O que isso revela sobre o controle em manobras de combate?

4 respostas

Mesmo em altas velocidades, uma aeronave pode atingir o estol ao exceder o ângulo de ataque crítico como em uma cabrada brusca ao realizar um looping na fase de manobras e acrobacias, mesmo com a velocidade estando próxima a VNE, a aeronave vai estolar devido a este ângulo agressivo.

Quando o avião apresentar um ângulo de ataque muito elevado, isso é refletido durante as dog fight onde os pilotos de caça submetem o avião a situação extremas e precisa, estar sempre atentos para uma eventual perda de controle dos comando da aeronave em contextos críticos

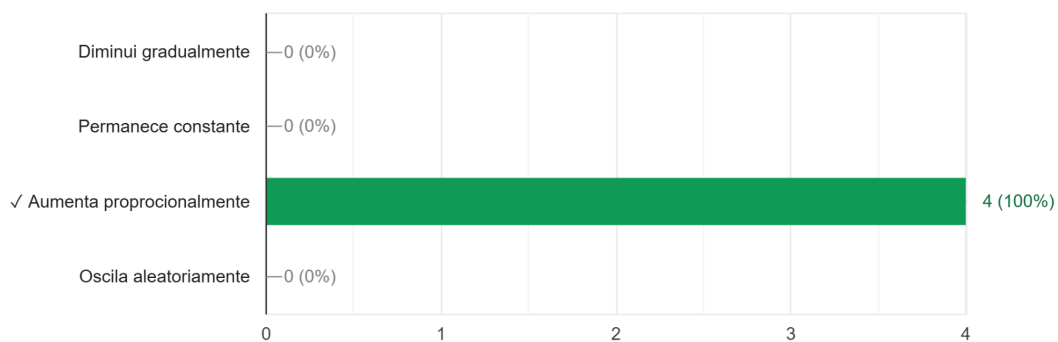
Durante a realização de um looping, exercício realizado normalmente em alta velocidade, ao passar pelo topo da acrobacia, há a possibilidade de se atingir o ângulo crítico e a aeronave perder sustentação durante a acrobacia. Isso demonstra que faz-se necessário um elevado controle e julgamento assertivo da relação velocidade x ângulo de ataque.

Se o ângulo de ataque for muito alto, a aeronave pode entrar em estol mesmo com alta velocidade. Por isso é necessário que o piloto mantenha bom uso dos comandos mesmo em situações de combate, visando manter o controle e a segurança em voo.

APÊNDICE D - RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO DOS CADETES PERTENCENTES AO GRUPO B

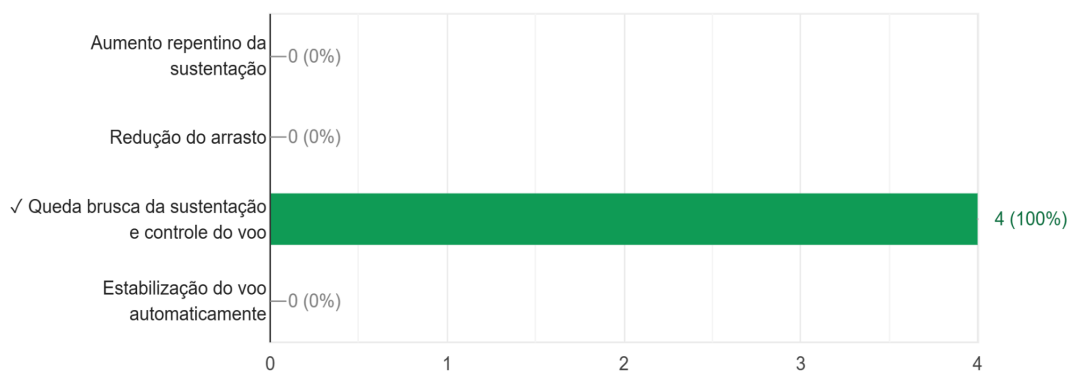
2. Quando a velocidade do ar aumenta com o ângulo de ataque constante, o que ocorre com a força de sustentação?

4 / 4 respostas corretas



4. O que pode ser observado no comportamento do avião imediatamente após atingir o ângulo de estol?

4 / 4 respostas corretas



7. Por que o ângulo de ataque deve ser aumentado na decolagem e pouso? Como flaps e slats contribuem nesse processo?

4 respostas

O aumento do ângulo de ataque (até o ângulo de ataque crítico) faz com que a sustentação do avião aumente, o que é interessante para situações como a decolagem (em que se precisa sair do chão utilizando o mínimo de pista possível, ou seja, com a menor velocidade possível), e como o pouso (em que se deseja aterrisar com a menor velocidade possível). Como não é desejável esperar a velocidade aumentar para ganhar mais sustentação para alçar voo, aumenta-se o ângulo de ataque. Os flaps aumentam a sustentação do avião em baixas velocidades, mas aumentam muito o arrasto, já os slats possibilitam que o piloto aumente o ângulo de ataque do avião para além do ângulo de ataque crítico normal, aumentando, dessa forma, a sustentação, mas também gerando arrasto.

Pois, além de estar mais baixo, sendo mais fácil escolar, é necessária uma maior inclinação. Eles contribuem aumentando a sustentação da anv.

Pois tanto na decolagem quanto no pouso a aeronave está com baixa energia; e é através do ângulo de ataque que a aeronave ganha sustentação. Flaps e slats contribuem para a mudança no perfil aerodinâmico da asa, fazendo com que a massa de ar na camada limite da asa tenha maior superfície para correr e gerando mais sustentação.

Para que se consiga manter a velocidade controlada em ambas as situações. Os flaps e slats podem permitir um ângulo de ataque maior no caso da descida, para que haja maior perda de altura sem ganho de velocidade, porém reduzem o ângulo da subida (em comparação a quando se busca manter a subida com uma mesma velocidade sem o uso dessas superfícies), pois acabam aumentando o arrasto.

8. Qual a importância de entender os gráficos de coeficientes de sustentação e arrasto em função do ângulo de ataque para um piloto militar?

4 respostas

Entender esse gráfico significa saber exatamente quando e porquê o estol irá ocorrer. Isso dá muito mais segurança ao piloto e o permite explorar situações em que ele precise de mais arrasto do que sustentação ou vice-versa.

Saber quais são os limites até os quais pode levar sua anv

Um piloto militar estará sempre necessitando variar a atitude da aeronave durante qualquer voo. Para manter um voo controlado e seguro, é essencial que o mesmo entenda minimamente o que esse ângulo de ataque estabelecido por ele causará na aeronave. O piloto militar deve entender para já saber o comportamento da aeronave quando ele mudar o ângulo de ataque e como proceder diante das consequências geradas.

É importante principalmente para a Segurança de Voo, pois, se o piloto não tiver uma boa noção, além de não conseguir voar com eficiência, à título inclusive de consumo de combustível, poderá colocar o avião em atitudes anormais, levando a situações de risco.

9. Descreva uma situação em que o avião pode entrar em estol mesmo em alta velocidade. O que isso revela sobre o controle em manobras de combate?

4 respostas

No regresso de uma missão na área da instrução em um T-25C, quando realizando a descida para a altitude de ingresso no tráfego, pode-se acelerar demasiadamente de forma que, se o piloto resolver cabrar muito bruscamente, o avião não terá "força" o suficiente para superar a inércia de descida, ocasionando estol. Isso mostra que, durante um combate, deve-se prestar atenção para também não realizar manobras com velocidade muito elevada.

Curvas ou manobras que puxam muito G pois mudam a aerodinâmica do avião

Ao atingir o ângulo de ataque crítico, mesmo com velocidade alta, a aeronave entra em estol. No looping, a velocidade pode estar alta, porém com a mudança grande no ângulo de ataque a aeronave pode estolar caso não houvesse a puxada maior.

Em curvas de grande inclinação prolongadas. O piloto deve se atentar tanto ao ângulo de ataque quanto à inclinação das curvas, pois ambos interferem na área de contato da aeronave com o ar.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6024**: informação e documentação – numeração progressiva das seções de um documento – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6022**: informação e documentação – artigo em publicação periódica técnica e/ou científica – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b [2020].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6028**: informação e documentação – resumo, resenha e resenha – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10520**: informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ANDERSON, David; EBERHARDT, Scott; DAHMEN, Silvio Renato. Como os aviões voam: Uma descrição Física do voo. **Física na escola. São Paulo. Vol. 7, n. 2 (out. 2006), p. 43-51**, 2006.

BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.

BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé; BLINI, Ricardo Brugnolle. **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física**. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, v. 31, n. 1, p. 43-49, 2009.

BIANCHI, Denis. **Teoria de Voo: Aviões**. 5. ed. São Paulo: Bianchi, 2015.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de et al. **O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, v. 1, p. 1-19, 2013.

DA ROSA, José Eugênio Brum; KALHIL, Josefina Barrera. **Metodologias Ativas no Ensino de Física: Um Panorama da Pesquisa Stricto Senso Brasileira**. In: Colloquium Humanarum. ISSN: 1809-8207. 2019.

DA SILVA, Andreza Regina Lopes; DE BEM MACHADO, Andreia. Práticas de coaching como ação inovadora para potencializar o aprendizado. **PROJEÇÃO E DOCÊNCIA**, v. 8, n. 2, p. 14-25, 2017.

DIESEL, Aline; BALDEZ, Alda Leila Santos; MARTINS, Silvana Neumann. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

FONTES, André. **O que faz um avião voar**. Instituto de Física – UFRGS. (S.D) Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20031/Andre/#5.%20>>. Acesso em: 4 out 2024.

FRAGA, Sérgio Luiz Marques. **Quais conceitos e aplicações da Física podem atuar para que um avião voe**. Orientador: Hualan Patrício Pacheco. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Porto Velho, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ifro.edu.br/handle/123456789/311>. Acesso em: 4 out 2024.

FREIRE, Atila Pantaleao Silva. **Teoria de camada limite**. 2012.

GOLDEMBERG, José. **Física geral e experimental**. São Paulo, Editora Nacional e Editora da USP, 1968-1970. 24-25 p.

HALLIDAY, David, , RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 2- Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10a edição. LTC, 06/2016.

HOMA, Jorge M. **Aerodinâmica e Teoria de Voo: noções básicas**. ASA-Edições e Artes Gráficas, 2002.

JÚNIOR, Severino Domingos da Silva; COSTA, Francisco José. **Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de Likert e Phrase Completion**. PMKT–Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia, v.15, p. 1-16, 2014.

MATOS, Ana Carolina de Lima. **Abordagem investigativa em aulas de física experimental no ensino superior: um estudo sobre aerodinâmica**. 2023. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/16455>. Acesso em 4 out 2024.

MORAES, José Uibson Pereira; JUNIOR, Romualdo S. Silva. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na aprendizagem significativa**. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, v. 9, n. 2, p. 2504-1, 2015.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Século XXI: Desafios e Equívocos**. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 3, p. 80-94, 4 dez. 2018.

STUDART, Nelson. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. 3, p. 1-24, 2019.